

RÉPUBLIQUE DU MALI

MINISTÈRE DES MINES, DE L'ÉNERGIE  
ET DE L'HYDRAULIQUE

Direction Nationale de l'Hydraulique  
et de l'Énergie

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT RURAL  
ET DE L'ENVIRONNEMENT

Direction Nationale de l'Aménagement  
et de l'Équipement Rural

## **PROJET ENERGIE DOMESTIQUE**

### **BRIQUETTES DE CHARBON AU MALI**

## **VALORISATION DES DECHETS**

**Rapport de mission  
Roland SIEMONS  
Août 1997**

Assistance Technique Globale  
Groupement SEED - CIRAD Forêt - BTG - AFRITEC - BEAGGES

## AVANT-PROPOS

*Le présent rapport a été élaboré par le Groupement SEED - CIRAD Forêt - BTG - AFRITEC - BEAGGES dans le cadre du contrat de consultants pour une assistance technique globale au Projet Energie Domestique au Mali, contrat n°0539 DGMP 97, signé le 3/2/97.*

*La liste des rapports déjà produits est la suivante :*

⇒ LES PANELS - DOCUMENT DE MÉTHODE .....	Michel MATLY	Avril 1997
⇒ LE PANEL DE KAYES - BASE D'ÉCHANTILLONNAGE LE PANEL DE GAO - BASE D'ÉCHANTILLONNAGE LE PANEL DE MOPTI - BASE D'ÉCHANTILLONNAGE LE PANEL DE SIKASSO - BASE D'ÉCHANTILLONNAGE LE PANEL DE SEGOU - BASE D'ÉCHANTILLONNAGE LE PANEL DE BAMAKO - BASE D'ÉCHANTILLONNAGE	Michel MATLY	Avril 1997
⇒ DIFFUSION DU FAYIDA - DOCUMENTS POUR L'AFFICHAGE .....	Michel MATLY	Avril 1997
⇒ COMMUNICATION GLOBALE DU PROJET - DOCUMENT DE PROPOSITION .....	Michel MATLY	Mai 1997
⇒ SEGMENTATION DU MARCHÉ - DOCUMENT DE MÉTHODE .....	Michel MATLY	Mai 1997
⇒ SYSTÈME DE CONTRÔLE FORESTIER - DIAGNOSTIC ET PROPOSITIONS - RAPPORT DE MISSION DU 27 AVRIL AU 11 MAI 97 .....	François HAASER	Mai 1997
⇒ RÉGLEMENTATION EN VIGUEUR POUR L'EXPLOITATION DU BOIS-ÉNERGIE - NOTE CRITIQUE	Gérard MADON	Mai 1997
⇒ SCHÉMAS DIRECTEURS D'APPROVISIONNEMENT EN COMBUSTIBLES LIGNEUX DE BAMAKO ET SÉGOU - PROPOSITIONS MÉTHODOLOGIQUES - RAPPORT DE MISSION DU 25 AVRIL AU 16 MAI 97 .....	Claudine DUHEM	Mai 1997
⇒ BRIQUETTES DE CHARBON AU MALI - VALORISATION DES DÉCHETS - RAPPORT DE MISSION .....	Roland SIEMONS	Avril 1997

---

## TABLE DE MATIERES

	LISTE DES TABLEAUX	4
	LISTE DES FIGURES	5
	RESUME	6
1	CONTEXTE SOCIAL ECONOMIQUE	7
1.1	BUTS	7
1.2	RESTRICTION	7
1.3	MATIERES POTENTIELLES	8
2	EVALUATIONS TECHNIQUES	10
2.1	RESUME DES OPERATIONS	10
2.2	RAMASSAGE DES RESIDUS	10
2.3	CARBONISATION DES RESIDUS AGRICOLES (AVANT LE BRIQUETTAGE)	11
2.3.1	Carbonisation aux champs	11
2.3.2	Carbonisation centrale	12
2.4	BRIQUETTAGE DE CHARBON	12
2.4.1	L'agglomération	13
2.4.2	Le compactage par presse à tambours	15
2.4.3	Le compactage dans un moule	16
2.5	BRIQUETTAGE DIRECT	18
2.6	CARBONISATION DIRECTES DES BRIQUETTES	20
3	EVALUATIONS ECONOMIQUES	21
3.1	METHODE	21
3.2	RESULTATS GENERAUX ECONOMIQUES	21
3.3	RESULTATS ECONOMIQUE POUR LA FILIERE 1	23
3.3.1	Carbonisation des tiges de cotonnier aux champs (Filière 1)	23
3.3.2	Alternative de briquetage: Agglomération	27
3.3.3	Alternative de briquetage: Compactage à la main	27

---

3.4	RESULTATS ECONOMIQUE POUR LA FILIERE 2	29
3.4.1	Hacher des tiges de cotonnier pour les rendre disponible de façon centrale	30
3.4.2	Briquettage direct suivi par carbonisation à partir des tiges de cotonnier hachées	30
3.5	RESULTATS ECONOMIQUE POUR LA FILIERE 3	31
3.5.1	Hacher des tiges de cotonnier pour les rendre disponible de façon centrale	31
3.5.2	Carbonisation centrale à partir des tiges de cotonnier hachées	32
3.5.3	Alternative de briquettage: Agglomération	33
3.5.4	Alternative de briquettage: Compactage à la main	33
3.6	RESULTATS ECONOMIQUES POUR LA FILIERE 6	33
4	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	34
4.1	CONCLUSIONS	34
4.2	RECOMMANDATIONS AU PROGRAMME DE TRAVAIL	35
ANNEXE A		
	DESSINS DE CONSTRUCTION DU FOUR 3-FUTS	37
ANNEXE B		
	L'AGGLOMERATEUR DE BTG	40
ANNEXE C		
	DONNEES ET SUPPOSITIONS	41

---

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1,</b> Disponibilité des matières pour le briquetage.	8
<b>Tableau 2,</b> Caractéristiques techniques du four à 3 fûts.	11
<b>Tableau 3,</b> Résumé d'outils et de l'équipement.	15
<b>Tableau 4,</b> Galettes de charbon de bois faites par SENAGRI.	17
<b>Tableau 5,</b> Les caractéristique des extrudeuses à vis (source: Brandt [1993]).	19
<b>Tableau 6,</b> Coûts des matières diverses avant le briquetage.	22
<b>Tableau 7,</b> Prix de revient des briquettes de charbon.	23
<b>Tableau 8,</b> Résumé des coûts de production pour la carbonisation des tiges de cotonnier aux champs (Calculé pour une unité de production de 4 fours).	24
<b>Tableau 9,</b> Résumé des coûts de l'agglomération du charbon de tiges de cotonnier carbonisé aux champs.	27
<b>Tableau 10,</b> Résumé des coûts du compactage à la main du charbon de tiges de cotonnier carbonisé aux champs.	29
<b>Tableau 11,</b> Résumé des coûts de hacher des tiges de cotonnier (y inclus le transport du produit vers l'usine centrale).	30
<b>Tableau 12,</b> Résumé des coûts du briquetage suite par carbonisation des tiges de cotonnier hachée.	31
<b>Tableau 13,</b> Résumé des coûts de production de charbon à partir des tiges de cotonnier, faite de façon centralisé à l'usine (Calculé pour une unité de production de 4 fours).	32
<b>Tableau 14,</b> Classification des filières et technologies.	35
<b>Tableau 15,</b> Les actions recommandées.	36
<b>Tableau 16,</b> Données et suppositions pour le carbonisation des tiges de cotonnier aux champs (pour une unité de production de 4 fours).	41
<b>Tableau 17,</b> Données et suppositions pour l'agglomération du charbon fait aux champs des tiges de cotonnier.	42
<b>Tableau 18,</b> Données et suppositions pour le compactage à la main du charbon fait aux champs des tiges de cotonnier.	44
<b>Tableau 19,</b> Données et suppositions pour hacher des tiges de cotonnier aux champs (pour une unité de production).	46
<b>Tableau 20,</b> Données et suppositions pour le briquetage direct des tiges de cotonnier suivi par carbonisation.	47
<b>Tableau 21,</b> Données et suppositions pour le carbonisation central des tiges de cotonnier (pour une unité de production de 4 fours).	49

---

## LISTE DES FIGURES

Figure 1, Les six filières alternatives.	10
Figure 2, Schéma d'un four fait des fûts: le type "3 fûts".	12
Figure 3, Le principe du fonctionnement d'un agglomérateur.	13
Figure 4, Schéma de la production des briquettes de charbon agglomérées.	14
Figure 5, Le principe du fonctionnement d'un presse à tambours.	16
Figure 6, Galette (à gauche) et le courant des gazes autour et à travers un galette brûlant dans un foyer (à droit).	17
Figure 7, Presse à vis avec chauffage extérieur.	18
Figure 8, Les évaluations des étapes (Calculs faites pour les étapes délimitées).	22
Figure 9, Carbonisation aux champs: Sensibilité des coûts de charbon vers les numéro de charges par jour.	25
Figure 10, Carbonisation aux champs: Sensibilité des coûts de charbon vers le coût de corde de sisal.	25
Figure 11, Carbonisation aux champs: Sensibilité des coûts de charbon vers le rendement de carbonisation.	26
Figure 12, Carbonisation aux champs: Sensibilité des coûts de charbon vers la quantité d'une charge.	26
Figure 13, Carbonisation suivi par agglomération: La sensibilité du prix de revient aux coûts du charbon, délivrées à l'usine centrale. (La supposition indiquée s'applique à la Filière 1).	28
Figure 14, Carbonisation suivi par agglomération: La sensibilité du prix de revient à la productivité d'un homme. (La supposition indiquée s'applique à la Filière 1).	29
Figure 15, Briquetage direct suivi par carbonisation: La sensibilité du prix de revient aux coûts des tiges de cotonnier hachées, délivrées à l'usine centrale.	32
Figure 16, Schéma d'un four fait à partir des fûts: le type "3 fûts".	37
Figure 19, Le plan du modèle agglomérateur de BTG.	40

---

## RESUME

De 9 Mai au 23 Mai a eu lieu la première mission de l'expert briquetage au Projet Energie Domestique. La mission a été effectuée par Roland Siemons du Biomass Technology Group (BTG). Elle a travaillé en étroite collaboration avec Cheick Ahmed Sanogo, chef de la Cellule Energie Domestique et Mahamane Bilaly Touré, responsable de la Poste Promotion Produits.

Les principaux objectifs de la mission, comme indiqués dans les Termes de Référence, étaient:

- Analyse de la structure de production de briquettes de poussier de charbon et de résidus végétaux de SENAGRI.
- Analyse de différentes options de mise en place des filières retenues par SENAGRI.
- Présentation au projet des autres options en matière de briquettes carbonisées.
- Proposition de programme de travail pour la seconde semestre.

Le rapport est rédigé comme suit. Le **Chapitre 1** donne un petit résumé du contexte social et économique. Quelques directives sont dérivées en ce qui concerne les matières qui demanderaient le plupart de l'attention du Projet Energie Domestique. Le **Chapitre 2** décrit les procédés et les autres caractéristiques des technologies alternatives pour la fabrication des briquettes de charbon. Là aussi nous avons distinguées les filières selon lesquelles les technologies alternatives sont utilisées. C'est dans le **Chapitre 3** que les évaluations sont complétées avec des calculs sur l'économie de la production des briquettes de charbon. Finalement tous les conclusions sont résumées au **Chapitre 4**, ensemble avec des recommandations pour le programme de travail du Projet Energie Domestique.

---

## 1 CONTEXTE SOCIAL ECONOMIQUE

### 1.1 BUTS

Les Buts des activités sur le briquetage du projet SED sont:

- Créer une alternative pour le charbon de bois:
  - Diminuer une utilisation de basse valeur du bois;
  - Valoriser les déchets (résidus agricole, poussier de charbon de bois);
- Créer de l'emploi industriel et semi-industriel (urbain et rural);
- Améliorer l'environnement:
  - Réduire la consommation de bois coupé spécialement pour la production de charbon;
  - Réduire l'émission des gazes 'Greenhouse' (méthane, carbondioxide);
- Contribuer au développement rural.

Les briquettes de charbon constituent un produit nouveau, aussi bien pour les consommateurs que pour les secteurs de production. Il faut formuler une stratégie qui permet de s'approprier d'une technologie faisable dans la structure sociale. Il s'agit de:

- L'adaptation du produit aux besoins des consommateurs;
- L'adaptation de la technologie de production aux capacités et possibilités des producteurs (entretien, façon de production);
- La dissémination des technologies auprès des producteurs;
- La promotion des briquettes de charbon.

### 1.2 RESTRICTION

Nos évaluations pourraient inclure le briquetage direct de la matière non-carbonisée, pour l'utilisation directe (combustion) des briquettes non-carbonisées. Cependant, le marché prévu pour ce produit ne se compose pas des ménages, mais plutôt des industries ou des services comme par exemple des boulangeries. C'est parce que, dans les réchauds domestiques les briquettes non-carbonisées fonctionnent de façon inférieure que l'alternative la plus proche, c'est à dire le bois de feu.

De l'autre côté, la fabrication du charbon constitue une perte énergétique et aussi une charge à l'environnement. Il est alors à envisager de ne jamais produire du charbon de bois. Cependant, c'est un fait accompli qu'au Mali, il-y existe un



marché établi pour le charbon de bois. Sous ces circonstances il est tout à fait justifiable de rechercher des possibilités pour faire un produit de substitution au charbon de bois, acceptable et abordable par les consommateurs. Ce rapport est concentré sur les questions autour ce produit.

### 1.3 MATIERES POTENTIELLES

En principe, au Mali, les matières suivantes sont disponibles pour la fabrication des briquettes de charbon:

- Poussier de charbon de bois
- Tiges de cotonnier
- Bagasse de cane à sucre
- Graminées (comme p.e. le tifu (une herbe disponible dans la région gérée par l'Office du Niger))
- Balles de riz
- Sciure de bois
- Paille (de riz, de mille)

Ces matières sont caractérisées en Tableau 1.

Tableau 1 , Disponibilité des matières pour le briquetage.

Type	tonne/an	tonne équiv. de charbon de bois/an	centralisé (C) ou décentralisé (D) (au lieu de briquetage)	Source
Poussier de charbon de bois	10.000	10.000	C	RPTES, Note: a
Tiges de cotonnier	400.000	80.000 Note b	D	RPTES, SENAGRI
Bagasse de canne à sucre	9.000	900 Note c	C	RPTES
Graminées (comme le Tifu)	NA	NA Note b	D	
Balles de riz	30.000	4.980 Note d	C	RPTES
Sciure de bois	NA	NA Note b	D	
Paille (de riz, de mille, etc.)	NA	NA Note b	D	
<b>Total</b>		<b>&gt; 90 000</b>		
a: Pourcentage de la consommation supposé		10%		
b: Taux de conversion supposé		20%		
c: A la base d'une disponibilité par rapport à la production de		10%		
et d'une taux de conversion supposé de		10%		
d: A la base d'un taux de cendres de		17%		
et taux de conversion supposé		20%		

En vue de la consommation de charbon de bois d'environ 100 000 t/a, les tiges de

---

cotonnier constituent un potentiel considérable. Des autres considérations importantes touchent au suivant:

- L'économie de la production;
- Des limitations de la disponibilité selon la saison;
- La taille de production par unité;
- La simplicité de la technologie;
- La simplicité de la gestion de la production;
- L'état du développement technologique.

Il est alors nécessaire de faire plusieurs d'analyses, techniques et économiques, pour justifier les recommandations.

Les calculs suivantes sont principalement limité à deux genres de matière première, c'est à dire le poussier de charbon de bois et les tiges de cotonnier. Ceci ne veut pas dire que le briquetage de charbon n'est pas faisable ou attractive à partir d'autres types de résidus. Les tiges de cotonnier et le poussier servent comme des exemples. De façon indirect alors, la faisabilité d'autres options se fera savoir.

## 2 EVALUATIONS TECHNIQUES

### 2.1 RESUME DES OPERATIONS

A partir des résidus agricoles, il-y a cinq filières alternatives pour la production des briquettes de charbon. La disponibilité de poussier donne une sixième filière (Voir Figure 1).

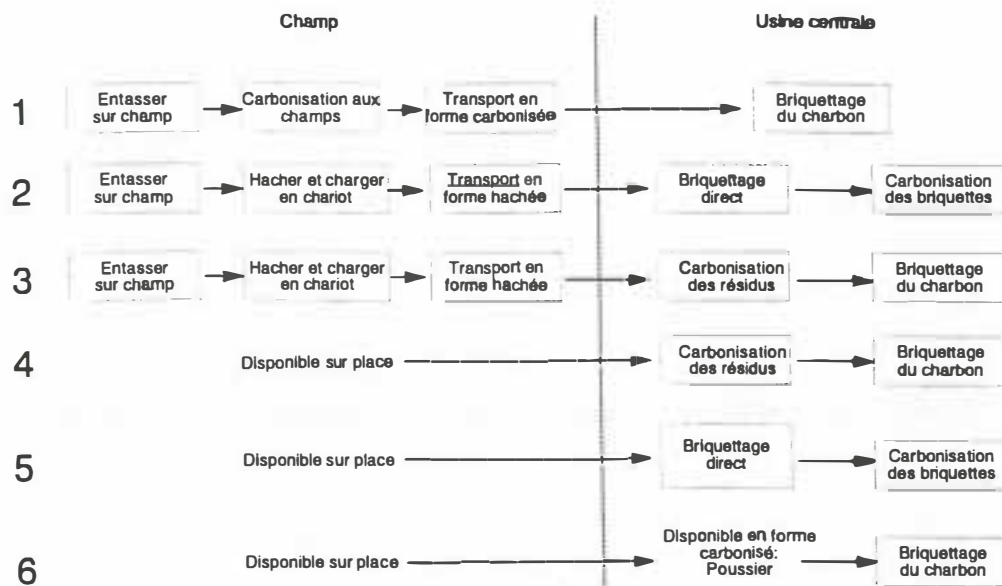


Figure 1, Les six filières alternatives.

Des explications sont données ci-dessous.

### 2.2 RAMASSAGE DES RESIDUS

Les opérations commencent avec le rassemblement des matières. Ou bien ils sont disponibles déjà de manière concentrée (bagasse, balles de riz), ou bien ils sont dispersées aux champs (tiges de cotonnier). Les tiges de cotonnier, quand il sont utilisées suivant la filière 1, sont entassées sur les champs, puis carbonisées et le charbon de tiges est transporté en sacs de jute vers l'usine où le charbon est briqueté. Tandis que les tiges doivent être carbonisées pendant la période de leur disponibilités (deux mois après la récolte de coton et avant les semailles suivantes) le briquetage peut être effectué toute l'année.

Alternativement, les tiges peuvent être entassées et transportées vers une unité centrale pour briquetage direct (filière 2) ou carbonisation (filière 3). Dans ces cas, les tiges doivent être hachées de manière mécanique avec un hacheur propulsé par un tracteur. En même temps, les tiges hachées sont chargées dans un chariot. Avec un nombre de chariots suffisants un tracteur peut être occupé sans cesse avec le hacheur, un autre avec le transport des tiges hachées. Dans le cas de tiges de cotonnier, l'utilisation de ces machines dans les champs, comme les fours de carbonisation suivant la filière 1, est limitée à deux mois de l'année.

## 2.3 CARBONISATION DES RESIDUS AGRICOLES (AVANT LE BRIQUETAGE)

Les filières indiquées donnent lieu à une distinction entre deux options principales pour la carbonisation: une façon centralisée et une façon décentralisée. La méthode centralisée est caractérisée par l'utilisation des fours pendant toute l'année (les tiges de cotonnier peuvent être stockées). Dans ce cas, pour la même capacité de briquetage, la capacité de carbonisation peut être réduite comparé à la carbonisation aux champs qui peut être faite pendant deux mois par année seulement.

### 2.3.1 Carbonisation aux champs

La technologie proposée est développée au Soudan par BTG en collaboration avec le ERI (Energy Research Institute) à Khartoum. Ceci a eu lieu pendant la période de 1987 à 1992 sous tutelle de plusieurs programmes de collaboration international (ONUDI, assistance Néerlandaise). Les fours utilisés sont transportables et construites des fûts utilisés, de tôle et de la cornière (voire Figure 2). Les fours sont appelés "3-drum kiln" (four à 3 fûts). Pour des données technique voir Tableau 2. Pour des dessins de construction voir Annexe A.

**Tableau 2, Caractéristiques techniques du four à 3 fûts.**

No. de fours par unité de production	4
No. d'opérateurs	2
Charges par four - jour (maximum)	2-3
Volume du four (m <sup>2</sup> )	2
Quantité d'un charge (kg tiges/charge)	150-300 /a
Rendement (kg charbon/kg tiges)	22%

/a: En fonction de la façon de charger.

Un équipe de 2 hommes est chargé de l'opération de 4 fours. Ils font du charbon en transportant les fours vers les endroits où les tiges sont empilées. Chaque 4-5 jours, le charbon est retiré pour du stockage central à l'usine des briquettes.

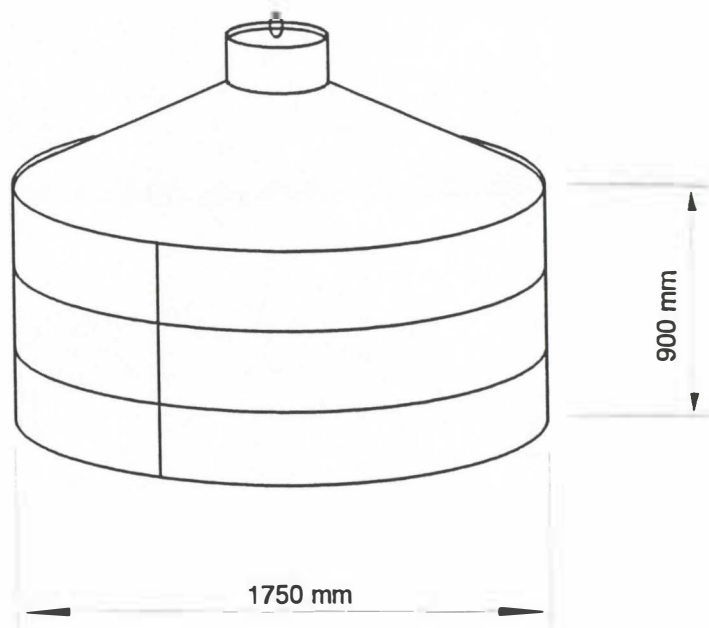


Figure 2, Schéma d'un four fait des fûts: le type "3 fûts".

### 2.3.2 Carbonisation centrale

Aujourd'hui, on ne dispose pas des technologies de carbonisation des tiges de cotonnier à une échelle industrielle de plusieurs tonnes par heure. On est alors restreint à des méthodes pareilles à la méthode décentralisée aux champs. Néanmoins, une opération centralisée donne l'occasion d'augmenter la productivité des fours et des ouvriers parce que la charge des fours est plus compacte due à la densité (en vrac) élevée des tiges hachées. En même temps, la période de carbonisation prolongée de deux mois à douze mois donne l'occasion d'investir dans des fours plus grands (3-4 m<sup>3</sup>) et de meilleure qualité (de tôle de 2-3 mm). De cette façon les coûts de carbonisation peuvent être réduits.

## 2.4 BRIQUETTAGE DE CHARBON

Pour les applications domestiques plusieurs façons de briquetage de charbon peuvent être distingués:

- L'agglomération (formation des boulettes);
- Le compactage par presse à tambours (formation des ovoïdes);
- Le compactage dans un moule (à la main ou mécanique) (formation des

galettes).

Tous ces façons ont besoin d'un liant, souvent la mélasse de cane à sucre ou bien l'argile. Mais, en négligeant la technologie de production, il est nécessaire d'adapter le produit au désirs des consommateurs. Il s'agit de:

- Le taux de cendres;
- La taille et la forme des briquettes;
- La quantité de fumée;
- La dureté et la solidité;
- La sensibilité à l'humidité.

(Ces aspects sont à développer pendant la deuxième phase du projet).

#### 2.4.1 L'agglomération

Le principe de l'agglomération est illustré dans la Figure 3 (Voire Figure 19, Annexe B pour un dessin commercial). Le cylindre tournant est alimenté en poudre de charbon et un liant (par exemple la mélasse). En tournant il se forment des boulettes d'une taille d'environ 30-40 mm. Les boulettes sont pris avec une pelle, où elles se déchargent automatiquement, en fonction de la mode d'opération. Il est alors nécessaire de mouler le charbon en poudre avant que l'agglomération soi même peut être réalisé. Le schéma complet de la production est donné dans la Figure 4.

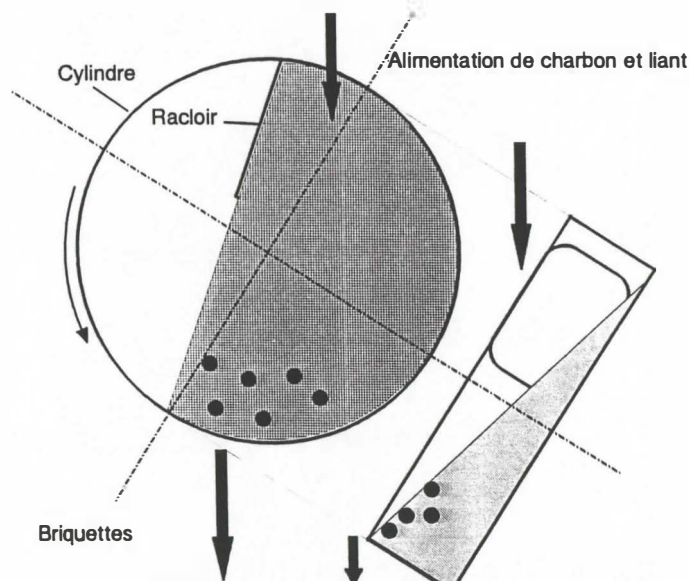


Figure 3, Le principe du fonctionnement d'un agglomérateur.

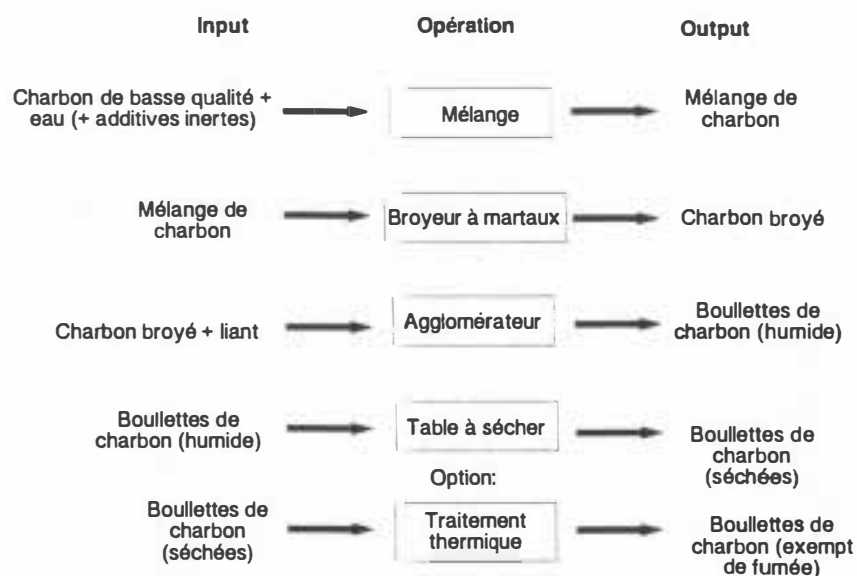


Figure 4, Schéma de la production des briquettes de charbon agglomérées.

Après leurs formation les boulettes contiennent de l'eau - à une taux d'humidité d'environ 40% (base humide). Le séchage est fait en plain air, en utilisant l'énergie atmosphérique, - les briquettes distribués au dessus d'une toile métallique montée sur des poteaux, ressemblent des tables. Maintenant, après le séchage dans un climat sec où pendant le saison sèche, les briquettes sont près pour l'usage - malgré qu'ils sont encore vulnérable à cause de leur hygroscopicité. Cependant il est possible de augmenter considérablement leur qualité. Par un traitement thermique additionnel les briquettes deviennent bien appropriés aux climats où saisons plus humides.

Les données techniques du procédé de l'agglomération de charbon sont résumées dans le Tableau 3. La capacité la plus petite qui est techniquement faisable est de 50 kg<sub>s</sub>/h. Ça veut dire que la capacité minimale annuelle est de 66 t<sub>s</sub>/a (jours ouvrables: 220 j/a, heurs ouvrable effective: 6 h/j). On peut réaliser des capacités augmentées par installation de plusieurs d'agglomérateurs dans une usine. Les capacités des équipements associés sont à adapter.



Tableau 3, Résumé d'outils et de l'équipement.

Broyeur à marteaux	
- Capacité (kg/h)	A adapter à échelle de production
- Puissance électrique (kW <sub>e</sub> )	10 kW <sub>e</sub> pour une capacité de 400 kg/h
Agglomérateur (une machine seule)	
- Capacité (kg/h), (à base sèche)	50
- Puissance électrique(kW <sub>e</sub> )	0.5
Table à sécher	
- Superficie (m <sup>2</sup> )	216 m <sup>2</sup> pour une capacité de 1660 kg <sub>s</sub> /j
Autres outils	
- Seaux	
- Brouettes	
- Pelles	
- Fut(s) stockage de mélasse	
- Fut stockage d'eau	
- outils d'entretien	

La capacité minimale de l'agglomération est la raison pour l'appropriété de ce procédé pour des opérations petites. De l'autre côté, la possibilité de combiner plusieurs machines dans une unité de production rend possible des usines qui sont ajustées au production à la base, par exemple, des tiges de cotonnier autour un village.

#### 2.4.2 Le compactage par presse à tambours

La presse à tambours est utilisé souvent pour le compactage des poudres afin d'obtenir des briquettes, surtout en Europe et les Etats Unies. Voir la Figure 5 pour le principe de la presse à tambours . Les deux rouleaux compressent une mélange de charbon et liant. Des fosses à l'extérieur des tambours donnent aux briquettes une forme ovoïde où semblable (p.e. oreiller).

L'extérieur des rouleaux doit être lisse pour dégager facilement les briquettes après leur formation. La qualité nécessaire de la surface extérieur exige une grande précision à la fabrication et l'entretien de l'équipement. La presse à tambours est surtout appropriée pour les grandes capacités. Ils sont disponibles des fabricants en Europe et aux Etats Unies pour des capacités de 1-4 t/h et plus. A l'opposé de l'agglomération, la presse à tambours est caractérisée par l'emploi de peu de main d'oeuvre et l'investissement de beaucoup de capital. Le prix d'une presse à tambours fabriqué en Europe d'une capacité de 1 t<sub>a</sub>/h, y inclus une système automatisée pour l'alimentation de matière, monte à environs US\$ 320,000. Autour cette capacité, le



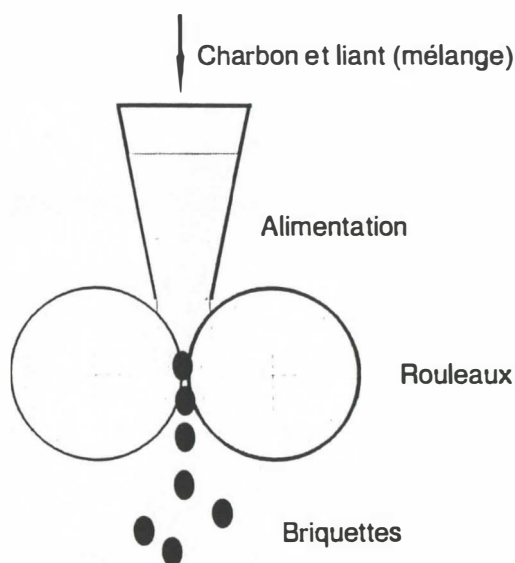


Figure 5, Le principe du fonctionnement d'un presse à tambours.

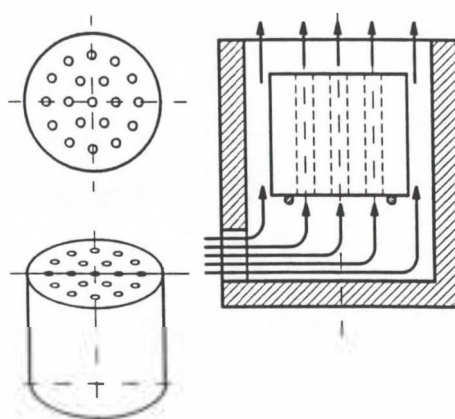
prix ne dépend pas fortement de la capacité. La consommation de l'énergie est bas, à peu près 30 kWh/t<sub>d</sub>.<sup>1</sup>

### 2.4.3 Le compactage dans un moule

Un système populaire dans les pays de l'Asie de l'Est (par exemple la Chine, la Corée, le Viet Nam) est le mouler de l'huile dans une forme appelée "beenest" (ruche) où "honeycomb" (rayon). Peut être leur nom est due au motif régulier des trous à travers les briquettes (Voire Figure 6). Au présent la conception du briquette moulé et la technologie de production sont importées de la Chine au Mali et adaptées au charbon de bois par la société SENAGRI. Les briquettes son appelés des "galettes".

La société SENAGRI produits des galettes en trois tailles. Les galettes sont composés d'un mélange de poussier de charbon de bois, de l'argile et de mélasse.

<sup>1</sup>Depuis quelques mois le Projet Energie Domestique a rencontré une presse à tambours de fabrication Chinoise, offert sous le nom "Coal Ball Shaping Machine". Eventuellement cette machine peut être utilisée aussi pour le charbon de bois, bien qu'elle est conçue pour l'houille. La presse Chinoise est apparemment de 100 fois plus moins cher que des équipements comparables de l'Europe ou des Etats Unis. Cela semble attractive. De l'autre côté: On n'est pas sur si une système pour la préparation de la matière brut (malaxage du charbon avec de liant) est inclus. On ne sais pas si l'alimentation de char brut est automatisée et contrôlée - important parce qu'un mélange de charbon et liant est plus légère qu'un mélange de l'houille et liant. Aussi la résistance contre l'usure est à évaluer. Alors ça peut être une machine intéressante, et on voudrait l'essayer.



**Figure 6.** Galette (à gauche) et le courant des gazes autour et à travers un galette brûlant dans un foyer (à droit).

Le mélange est mis dans une moule et ensuite les galettes sèchent à l'air. Les galettes sont rondes et ont tous 12 trous, voir Tableau 4.

**Tableau 4.** Galettes de charbon de bois faites par SENAGRI.

Taille	Diamètre x hauteur (mm)	Poids (g)	Diamètre des trous (mm)
Petit	100 x 38	250	10
Moyen	160 x 75	1400	12
Large	210 x 75	2000	16

Le principe du fonctionnement de combustion de la galette est comme suite: L'espace entre la paroi du foyer et le galette, ensemble avec les trous à travers le galette déterminent aussi bien le courant de gaz que la superficie de combustion. L'efficacité et la puissance thermique sont alors déterminés complètement par l'ensemble du galette et le foyer. C'est pourquoi des galettes peuvent seulement fonctionner bien si l'hauteur et le diamètre des foyers correspondent avec les dimensions des galettes. Les galettes prennent longtemps pour s'allumer et brûlent aussi plus longtemps que nécessaire pour les préparations quotidiennes d'une famille Malienne. En vue des préparations de cuisine, des galettes sont alors moins intéressants pour l'utilisation domestique (Voire l'Aide Mémoire de la visite de l'expert Piet Visser). La Société SENAGRI est d'accord avec cette opinion et a l'intention de destiner les galettes pour le secteur des services (restaurants).

Le briquetage direct de matière non-carbonisée est discuté en vue des Filières 2 et 5 (Voire Figure 1, page 10: pour les Filières 2 et 5 le charbon est fait directement à partir de briquettes). Alors, ces briquettes peuvent être fabriqués en deux façons principales:

- Extrudeuses à piston
- Extrudeuses à vis

Il est possible de carboniser des briquettes faites avec des Extrudeuses à piston, mais, en ce qui concerne la dureté et résistance à l'humidité, la qualité du charbon résultant est inférieur au charbon de bois. D'autre part, à partir des briquettes faites avec une extrudeuse à vis, il est possible de fabriquer une type de charbon qui peut facilement rivaliser avec le charbon de bois. La technologie de l'extrusion à vis est alors choisie pour une analyse plus profonde. Un schéma d'une telle presse est donné dans la Figure 7.

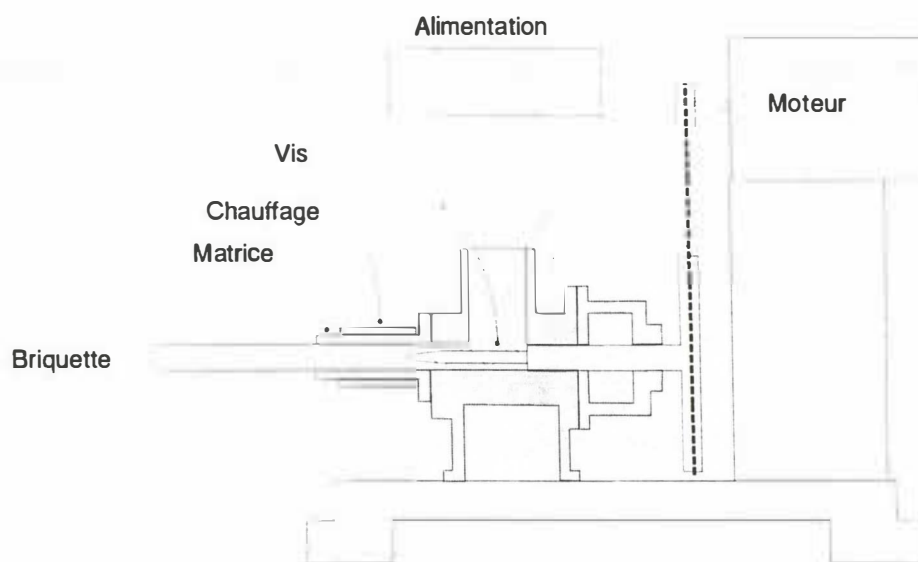


Figure 7, Presse à vis avec chauffage extérieur.

La gravité alimente la biomasse au vis qui transport la matière vers la matrice. La forme conique de la matrice fournit une pression qui peut être plus de 500 bar. A l'intérieur de l'extrudeuse on peut distinguer quatre zones:

- Zone d'alimentation
- Zone de transportation
- Zone de haute pression
- Zone de consolidation

Dans tous les zones la friction entre la superficie de la matrice et la matière est une cause de chaleur qui est absorbée par la matière. Cette chaleur est nécessaire pour faire fondre le liant (lignine, présent dans la matière). De chaleur complémentaire peut être réalisé par un élément de chauffage extérieur. La température typique à l'intérieur de la matrice est 250 à 300 °C.

Les briquettes ont une forme cylindrique où hexagonale avec une diamètre de 50-70 mm, parfois avec une trou au centre de 15-15 mm. La superficie extérieure peut être carbonisée un peu (torréfiée). Les briquettes sont dur et la densité varie entre 1,200 à 1,400 kg/m<sup>3</sup>.

Les presses à vis sont disponible du Taïwan, de la Chine où de l'Europe. Pour les caractéristiques, voire Tableau 5. La capacité des presses disponible est 100 kg/h et plus.

Tableau 5, Les caractéristique des extrudeuses à vis (source: Brandt [1993]).

	Capacité (kg <sub>d</sub> /h)	Investissement (US \$/(kg <sub>d</sub> /h)	Consommation d'énergie (kWh <sub>g</sub> /t <sub>g</sub> )
Presses Taïwanais	100-250	30-40	110
Presses Européennes	400-800	130-150	70

Une usine de briquettage munit d'extrudeuses à vis demande des investissements grandes, ne pas seulement pour les presses mais aussi pour les équipements additionnelles comme des séchoirs, des hacheuses, des silos et des alimenteuses. L'entretien est aussi cher, à cause de l'usure du vis. La matière du vis doit être remplacée par soudure. Chaque période de 80 h où plus (en fonction de la qualité de l'entretien). L'entretien demande des soudeurs bien éduqués et des baguettes de soudure spécifiques. La technologie est sensible à l'humidité de la matière et les dimensions et morphologie de la biomasse. Le taux d'humidité doit être entre 5 et 12% (à base sèche). Cette technologie demande beaucoup de capital tandis que l'utilisation de main d'oeuvre est basse.

---

## 2.6 CARBONISATION DIRECTES DES BRIQUETTES

Pour les filières 2 et 5, comme pas de production final, les briquettes doivent être carbonisés. Avec ce produit bien définie cela peut être faites en utilisant des cornues compactes de plusieurs m<sup>3</sup> et d'une capacité d'environ une tonne/cycle. La durée d'une cycle peut être d'environ 24 h (y compris le charger, le cuire, le refroidir et le décharger).

---

### 3 EVALUATIONS ECONOMIQUES

#### 3.1 METHODE

En ce moment, une incertitude relativement grave est le prix de vente réalisable des briquettes de charbon. Evidemment, le prix du charbon de bois donne une indication. Mais quant même il est impossible de faire une estimation plus précise que  $\pm 30\%$ . L'expérience à d'autres pays, notamment le Soudan, a montrée que des briquettes de bonne qualité peuvent être plus apprécié par les consommateurs que le charbon de bois ordinaire. C'est pourquoi il est à ce moment justifiable de limiter les évaluations à une estimation du prix de revient dès l'usine.

Faire un teste marketing est alors recommandable.

La division de la production en étapes diverses donne la possibilité de faire une évaluation au niveau des ces étapes même. Pour ces étapes il est alors possible d'analyser plusieurs des options techniques et de rechercher les sensibilités à des hypothèses pas encore vérifiées. Après ces estimations des étapes individuelles, on peut facilement combiner les prix de revient totales selon les filières définies ci dessus. Les étapes pour lesquelles des calculs spécifiques ont été faites, en considérant - si nécessaire - des technologies alternatives, sont montrées dans la Figure 8.

Les calculs discutés dans les paragraphes suivantes sont basées sur des données techniques et des assumptions sur la situation Malien dont la plupart a été déterminée en consultation des responsables du Projet Energie Domestique et M. Doucouré, le directeur de SENAGRI.

#### 3.2 RESULTATS GENERAUX ECONOMIQUES

Les résultats de ces calculs sont donnés dans Tableau 6 et Tableau 7. Pour mieux comprendre la relation entre les deux tableaux il est important de savoir qu'on a recalculé tous les données de Tableau 6 à la base de matière carbonisée en tenant compte du pourcentage de la matière dans le produit final. Plus de détails sont discutés dans les paragraphes suivantes.

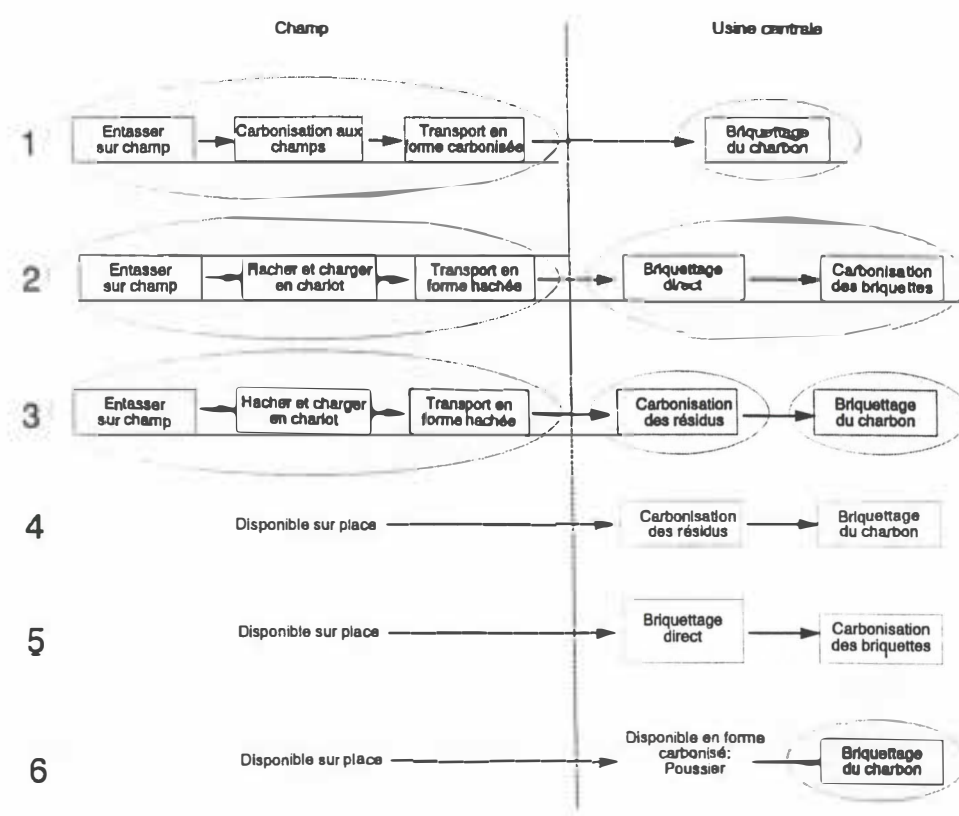


Figure 8, Les évaluations des étapes (Calculs faites pour les étapes délimitées).

Tableau 6, Coûts des matières diverses avant le briquetage.

Produit	Coûts (FCFA/kg)	Remarque
Tiges de cotonnier carbonisées aux champs, délivrées à l'usine (Filière 1)	29	Entasser inclus
Tiges de cotonnier hachées, délivrées à l'usine (Filière 2)	7	Entasser inclus
Tiges de cotonnier carbonisées de façon centrale (Filière 3)	32	Entasser et hacher inclus
Résidus indéfinis carbonisés (Filière 4)	ne pas calculés	Dépendant sur les caractéristiques des résidus spécifiques
Résidus indéfinis préparés pour le briquetage direct (Filière 5)	ne pas calculés	Dépendant sur les caractéristiques des résidus spécifiques
Poussier (Filière 6)	4-5	Délivré à l'usine

**Tableau 7, Prix de revient des briquettes de charbon.**

Filière	Technologie alternative	Prix de matière (charbon brut où tiges hachées) délivrée à l'usine. (A base de briquettes) (FCFA/kg) <sup>a</sup>	Prix pour l'usage final (FCFA/kg)	Coûts total (FCFA/kg)
1	Briquettage par agglomération	23	42	64
	Briquettage à la main	22	54	76
2		27	101	129
3	Briquettage par agglomération	25	42	66
	Briquettage à la main	25	54	79
4				ne pas déterminés
5				ne pas déterminés
6	Briquettage par agglomération	4	41	45
	Briquettage à la main	4	54	58

a) Le partie du prix de revient pour autant que déterminé par la matière est calculé à partir du prix brut de la matière, multiplié avec le pourcentage de la matière présent dans les briquettes de charbon.

### 3.3 RESULTATS ECONOMIQUE POUR LA FILIERE 1

Le prix de revient est trouvé en deux étapes:

- Carbonisation: Entasser, carboniser, transporter;
- Briquettage.

Ils sont élaborés comme suite.

#### 3.3.1 Carbonisation des tiges de cotonnier aux champs (Filière 1)

Le résumé des coûts du carbonisation aux champs est donné en Tableau 8. Les données techniques et les suppositions sur la situation Malien sont résumées au Tableau 16, Annexe C. Le prix de revient du charbon de tiges de cotonnier monte à 29 FCFA/kg.



**Tableau 8, Résumé des coûts de production pour la carbonisation des tiges de cotonnier aux champs (Calculé pour une unité de production de 4 fours).**

	FCFA/a	FCFA/kg	
Coûts financiers	75,498	5.96	21 %
Main d'oeuvre	120,000	9.47	33%
Matière	120,320	9.49	33%
Entretien	25,308	2.00	7%
Transport vers l'usine	25,344	2.00	7%
<b>Total</b>	<b>366,470</b>	<b>28.92</b>	<b>100%</b>

La sensibilité des résultats pour des suppositions moins certaines est montrée dans Figure 9 - Figure 12. Le prix de revient du charbon fait aux champs à partir des tiges de cotonnier peut alors varier entre 20 et 46 FCFA/kg. Ça est à vérifier par des expérimentations pratiques.

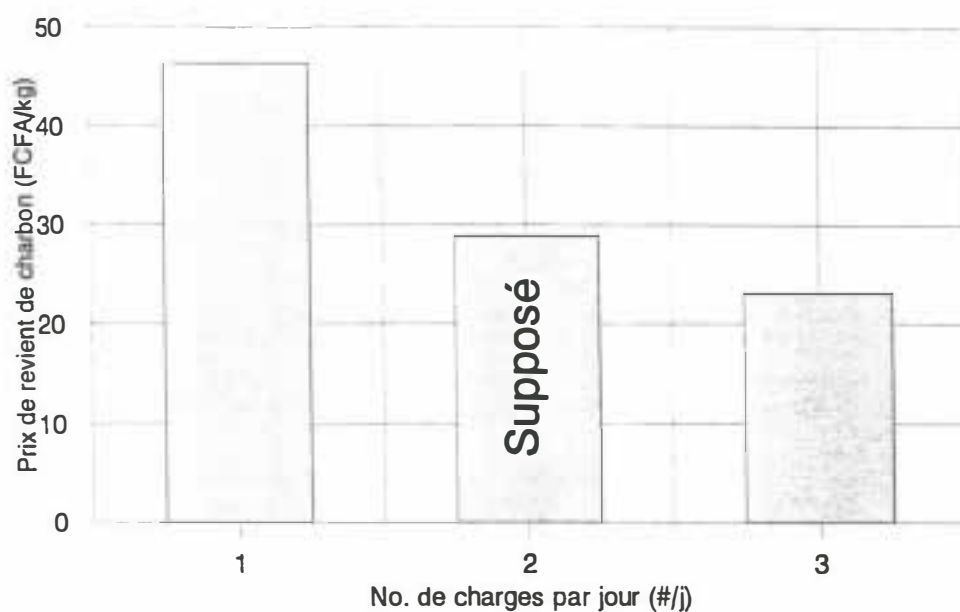


Figure 9, Carbonisation aux champs: Sensibilité des coûts de charbon vers les numéro de charges par jour .

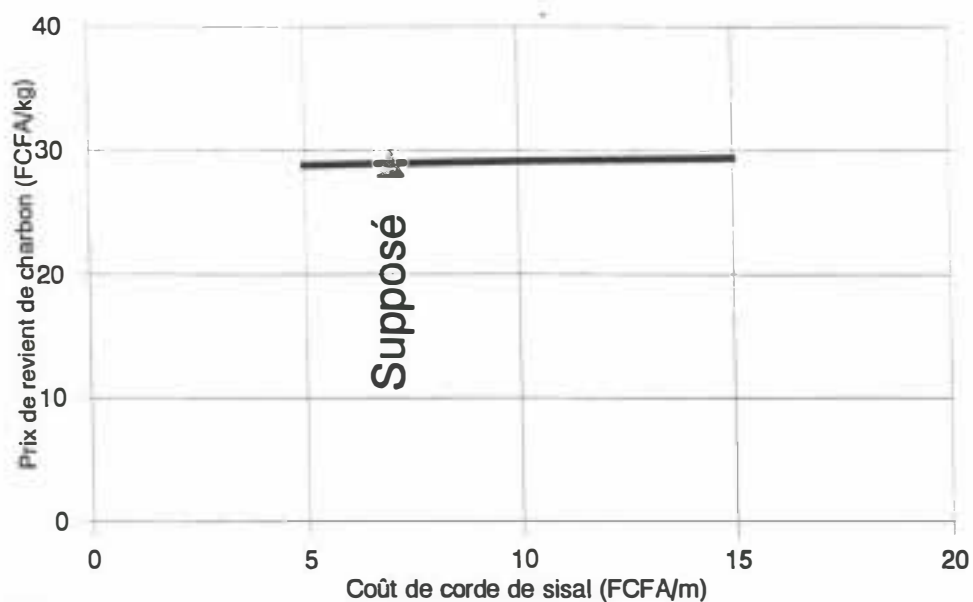


Figure 10, Carbonisation aux champs: Sensibilité des coûts de charbon vers le coût de corde de sisal.

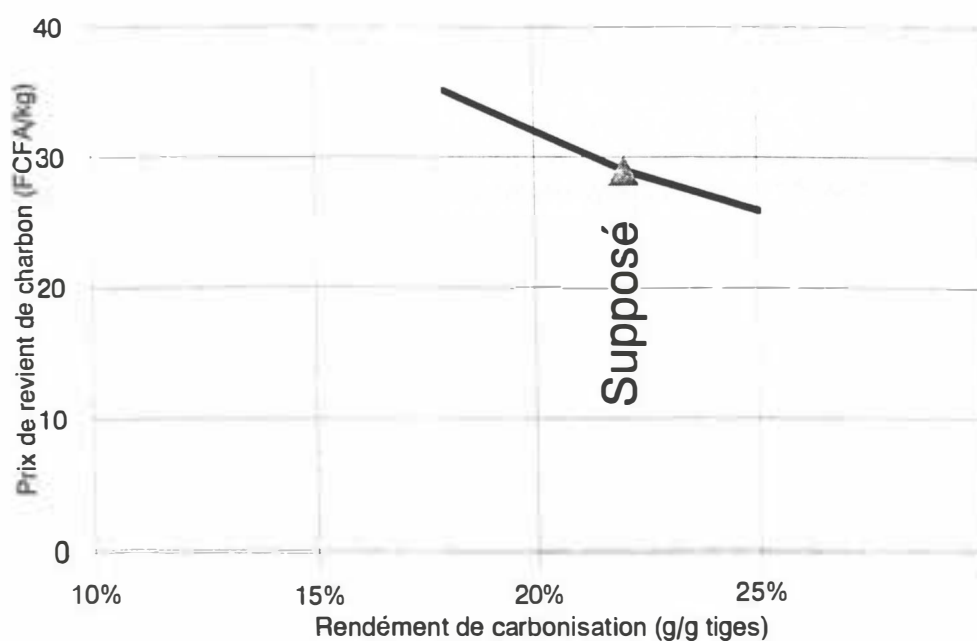


Figure 11, Carbonisation aux champs: Sensibilité des coûts de charbon vers le rendement de carbonisation.

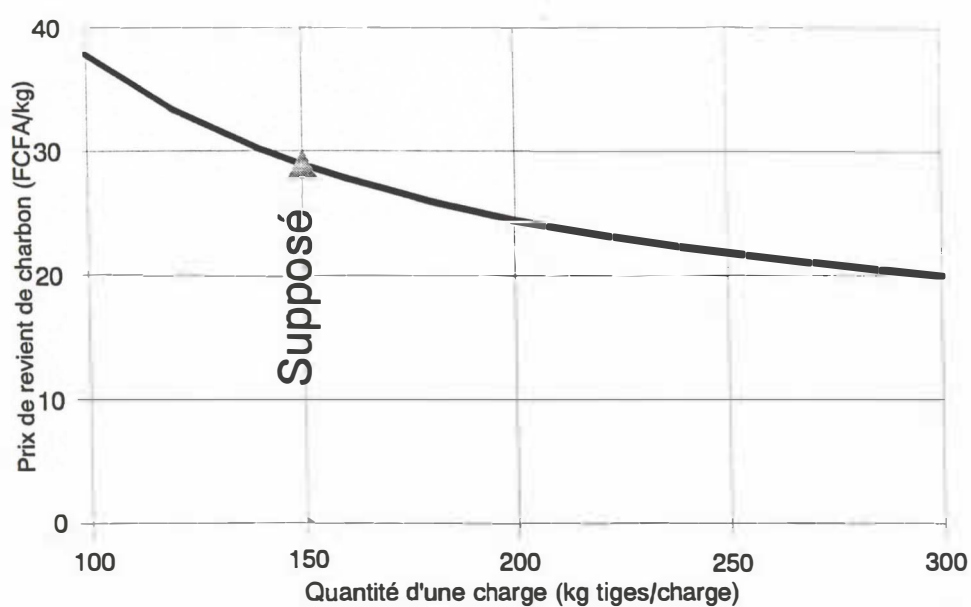


Figure 12, Carbonisation aux champs: Sensibilité des coûts de charbon vers la quantité d'une charge.

### 3.3.2 Alternative de briquetage: Agglomération

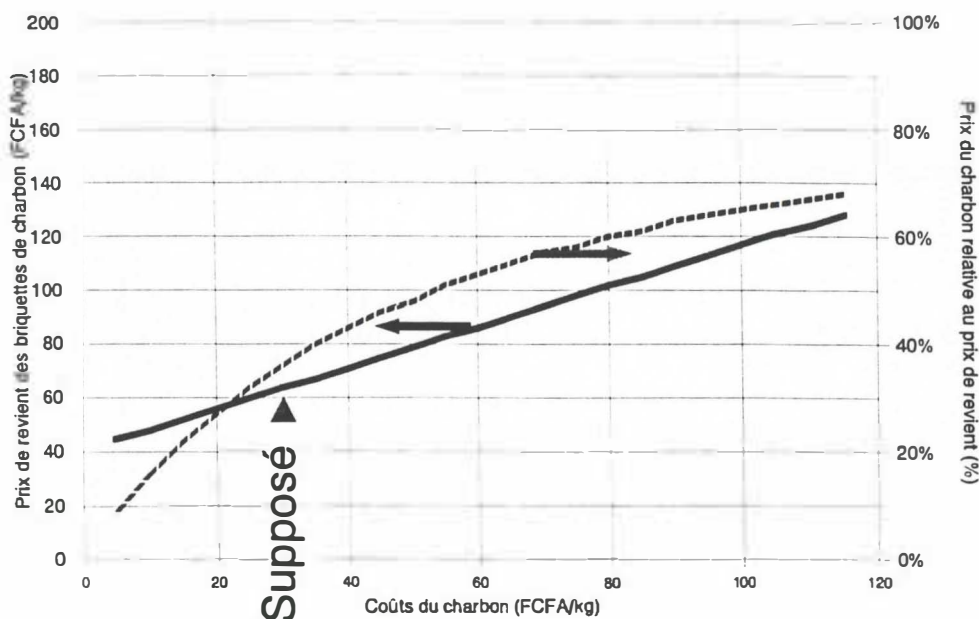
Pour le résumé des coûts de production selon la méthode de l'agglomération voir Tableau 9. Les données de base sont montrées dans Tableau 17, Annexe C. Le prix de revient total, y inclus le prix du charbon brut, monte à 63 FCFA/kg. La sensibilité de ce prix au coût du charbon est montré dans la Figure 13. On voit que le prix de revient varie de 45 à 86 FCFA/kg pour des prix de charbon entre 5-60 FCFA/kg.

**Tableau 9, Résumé des coûts de l'agglomération du charbon de tiges de cotonnier carbonisé aux champs.**

	FCFA /a	FCFA/kg	
<b>Coûts d'opération</b>			
Main d'oeuvre	14,951,546	9.89	16%
Overhead	3,600,000	2.38	4%
Entretien	1,696,900	1.12	2%
Assurance	2,418,050	1.60	3%
Matières	40,708,979	26.92	43%
Electricité	3,600	0.00	0%
Emballage	15,120,000	10.00	16%
Transport	7,560,000	5.00	8%
<b>Soustrait opération</b>	<b>86,059,075</b>	<b>56.92</b>	<b>91%</b>
<b>Coûts financiers</b>			
Annuité			
Equipement	3,381,108	2.24	4%
Bâtiments	5,368,567	3.55	6%
Intérêt (fonds de roulement)	1,290,886	0.85	1%
<b>Soustrait coûts financiers</b>	<b>10,040,562</b>	<b>6.64</b>	<b>10%</b>
<b>Prix de revient délivré</b>	<b>96,099,636</b>	<b>63.56</b>	<b>100%</b>

### 3.3.3 Alternative de briquetage: Compactage à la main

Une alternative pour l'agglomération est le compactage à la main. Cette méthode est utilisée souvent pour la fabrication des galettes en Chine et Viet Nam. Au Mali c'est aussi fait par la société SENAGRI. Tandis que cette forme de brique n'est pas à recommander (voir le paragraphe 16), il est imaginable de suivre une méthode de production pareille pour la fabrication d'une autre type de brique (par exemple des boulettes). Le mélange de charbon et mélasse peut être la même, c'est seulement la forme qu'il faut adapter. Ci dessous nous évaluons le compactage à la main relative à la productivité. Nous supposons une capacité de production pareille qu'avec l'agglomération.



**Figure 13,** Carbonisation suivi par agglomération: La sensibilité du prix de revient aux coûts du charbon, délivrées à l'usine centrale. (La supposition indiquée s'applique à la Filière 1).

Pour le prix de revient voir Tableau 10. Il monte à 76 FCFA/kg. Nous sommes arrivés à ce prix en supposant une productivité de 30 kg de briquettes par homme heure. Ce chiffre est indiqué par la société SENAGRI à la base de ses expériences avec des galettes. De l'autre côté, les dimensions des briquettes idéales sont plus petits que ceux des galettes. C'est alors douteux si la même productivité peut être réalisée et il est important d'évaluer la sensibilité du prix de revient plus profondément. Nous avons trouvés des relations indiqués dans la Figure 14. On voit que jusque à une productivité de 50 kg/homme h le prix de revient tombe à 63 FCFA/kg. De l'autre côté: Le prix de revient monte à 144 FCFA/kg pour une productivité de 10 kg/homme h.

Tous les données sont résumé au Tableau 18, Annexe C.

Tableau 10, Résumé des coûts du compactage à la main du charbon de tiges de cotonnier carbonisé aux champs.

	FCFA/a	FCFA/kg	
<b>Coûts d'opération</b>			
Main d'oeuvre	9,967,697	21.97	29%
Entretien	6,660	0.01	0%
Matières	12,212,694	26.92	35%
Emballage	4,536,000	10.00	13%
Transport	2,268,000	5.00	7%
<b>Soustrait opération</b>	<b>28,991,051</b>	<b>63.91</b>	<b>84%</b>
<b>Coûts financières</b>			
Annuité			
Equipement	6,635	0.01	0%
Bâtiments	5,231,754	11.53	15%
Intérêt (fonds de roulement)	434,866	0.96	1%
<b>Soustrait coûts financiers</b>	<b>5,673,255</b>	<b>12.51</b>	<b>16%</b>
<b>Prix de revient délivré</b>	<b>34,664,305</b>	<b>76.42</b>	<b>100%</b>

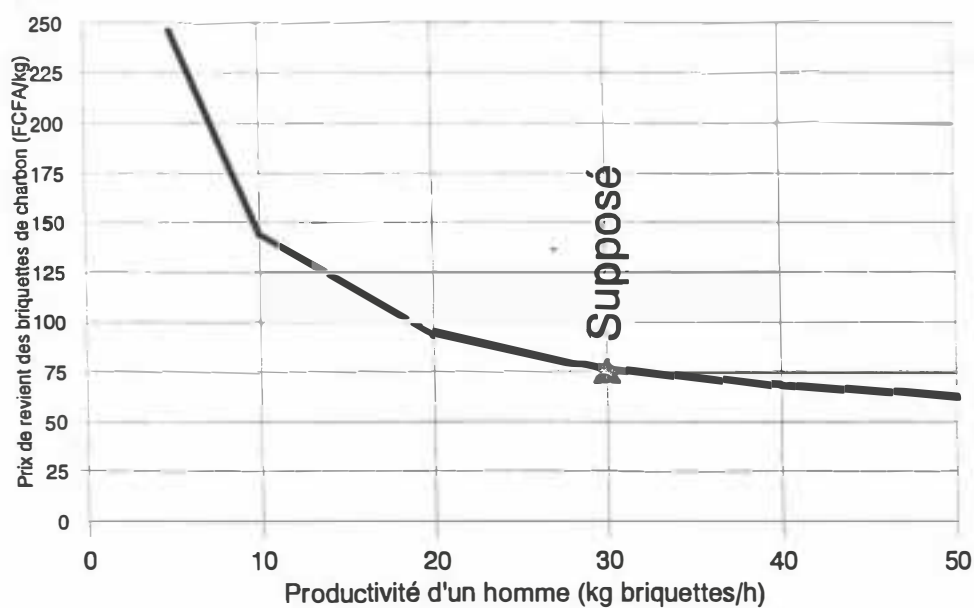


Figure 14, Carbonisation suivi par agglomération: La sensibilité du prix de revient à la productivité d'un homme. (La supposition indiquée s'applique à la Filière 1).

### 3.4 RESULTATS ECONOMIQUE POUR LA FILIERE 2

Le prix de revient est évalué en deux étapes:

- Entasser, hacher, transporter;
- Briquetage.

Ils sont élaborés comme suite.

#### 3.4.1 Hacher des tiges de cotonnier pour les rendre disponible de façon centrale

Le résumé des coûts pour hacher (le transport des tiges hachées vers l'usine inclus) est donné au Tableau 11. Les coûts sont calculés à partir des données et suppositions résumées au Tableau 19 (Annexe C). Le résultat de 7 FCFA par kg de tiges est à utiliser comme input pour les calculs sur le briquetage direct (Filière 2) et le carbonisation central (Filière 3, voire le paragraphe 3.5 ci-dessous).

Tableau 11, Résumé des coûts de hacher des tiges de cotonnier (y inclus le transport du produit vers l'usine centrale).

	FCFA/a	FCFA/kg de tiges	FCFA/kg de charbon <sup>1a</sup>	
Coûts financiers	1,159,378	1.38	5.52	20.1%
Main d'oeuvre	904,513	1.08	4.31	15.7%
Matière	1,680,000	2.00	8.00	29.1%
Entretien	581,865	0.69	2.77	10.1%
Louer des tracteurs et chariots	1,440,000	1.71	6.86	25.0%
<b>Total</b>	<b>5,765,756</b>	<b>6.86</b>	<b>27.46</b>	<b>100.0%</b>

Calculé pour un Rendement de 25% (kg de charbon/kg de tiges).

Coûts de carbonisation ne pas inclus.

#### 3.4.2 Briquetage direct suivi par carbonisation à partir des tiges de cotonnier hachées

Le prix de revient pour le briquetage direct des tiges de cotonnier (suivi par la carbonisation des briquettes) est calculé pour une usine d'une capacité de 1500 t/a (voire le Tableau 12). Le résultat est un prix de revient de 127 FCFA/kg. Comme estimation des investissements on s'a basé sur les investissements faits par de SENAGRI qui a déjà installé des installations pareilles. La société SENAGRI ne dispose pas encore de l'expérience suffisante pour bien évaluer les capacités de production et les coûts d'entretien. Dès alors ici aussi beaucoup des suppositions. Ils sont reproduites en Tableau 20, Annexe C.

**Tableau 12.** Résumé des coûts du briquetage suite par carbonisation des tiges de cotonnier hachée.

	FCFA/a	FCFA/kg	
<b>Coûts d'opération</b>			
Main d'oeuvre	29,681,587	19.63	15 %
Overhead	3,600,000	2.38	2 %
Entretien	39,278,378	25.98	20 %
Assurance	11,389,195	7.53	6 %
Matières	41,513,442	27.46	22 %
Electricité	14,914	0.01	0 %
Emballage	15,120,000	10.00	8 %
Transport	7,560,000	5.00	4 %
<i>Soustotale opération</i>	<i>148,157,517</i>	<i>97.99</i>	<i>77 %</i>
<b>Coûts financiers</b>			
Annuité			
Equipement	39,131,489	25.88	20 %
Bâtiments	5,368,567	3.55	3 %
Intérêt (fonds de roulement)	2,222,363	1.47	1 %
<i>Soustotale coûts financiers</i>	<i>46,722,419</i>	<i>30.90</i>	<i>24 %</i>
<b>Prix de revient délivré</b>	<b>194,879,937</b>	<b>128.89</b>	<b>100 %</b>

La Figure 15 montre la sensibilité du prix de revient pour les coûts de rendre disponible les tiges de cotonnier à l'usine centrale. Le prix de revient monte vite à un niveau autour du prix de vente de charbon de bois ( $\pm 150$  FCFA/kg), c'est à dire pour des coûts d'environ 13,000 FCFA/kg de tiges hachées. Il est aussi évident que le prix de revient ne peut jamais tomber au dessous de 100 FCFA/kg.

### 3.5 RESULTATS ECONOMIQUE POUR LA FILIERE 3

Le prix de revient est évalué en trois étapes:

- Entasser, hacher, transporter;
- Carboniser;
- Briquetage du charbon.

#### 3.5.1 Hacher des tiges de cotonnier pour les rendre disponible de façon centrale

Voire le paragraphe 3.4.1. On peut supposer les même coûts comme pour la Filière 2.



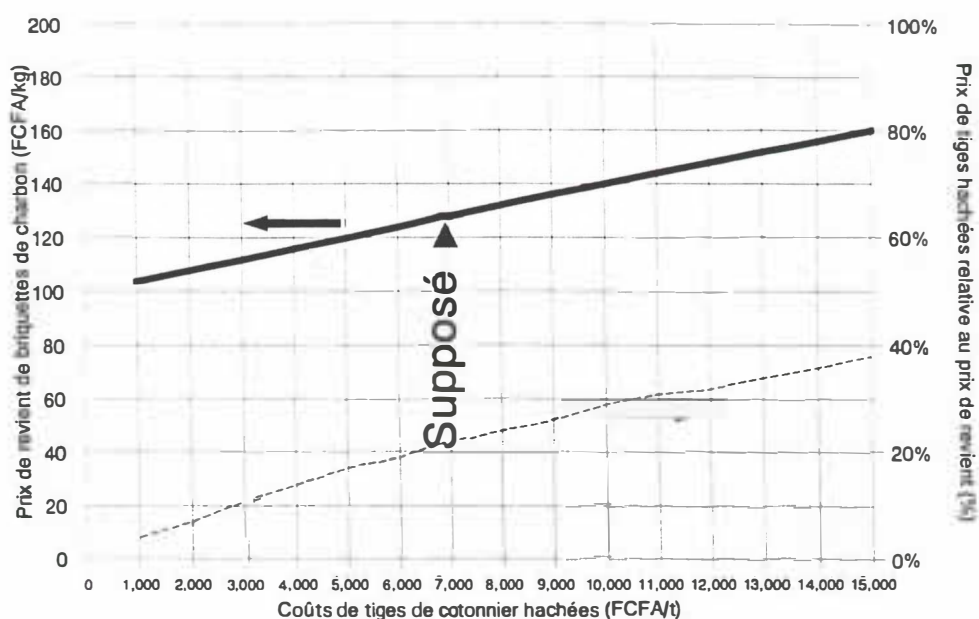


Figure 15, Briquetage direct suivi par carbonisation: La sensibilité du prix de revient aux coûts des tiges de cotonnier hachées, délivrées à l'usine centrale.

### 3.5.2

#### Carbonisation centrale à partir des tiges de cotonnier hachées

Le résumé des coûts du carbonisation central à partir des tiges de cotonnier hachées est donné au Tableau 13. Ils sont résumés au Tableau 21, Annexe C. Le résultat est un prix de 32 FCFA/kg.

Tableau 13, Résumé des coûts de production de charbon à partir des tiges de cotonnier, faite de façon centralisé à l'usine (Calculé pour une unité de production de 4 fours).

	FCFA/a	FCFA/kg	
<b>Coûts financiers</b>			
Carbonisation	75,498	0.48	1%
Hacher	861,385	5.52	17%
<b>Main d'oeuvre</b>			
Carbonisation	650,100	4.17	13%
Hacher	672,027	4.31	13%
Matière (tiges ramassées aux champs)	1,248,192	8.00	25%
Autre (entretien, location des tracteurs et chariots)	1,552,804	9.95	31%
<b>Total</b>	<b>5,060,006</b>	<b>32.43</b>	<b>100%</b>

---

### **3.5.3 Alternative de briquetage: Agglomération**

En principe la même structure s'applique qu'avec la Filière 1. Une élaboration plus en détail n'est pas nécessaire. Voir alors le paragraphe 3.3.2.

### **3.5.4 Alternative de briquetage: Compactage à la main**

Analogue au paragraphe 3.3.2.

## **3.6 RESULTATS ECONOMIQUES POUR LA FILIERE 6**

Le prix de revient est trouvé en une seule étape, c'est à dire le briquetage du charbon selon une des deux alternatives de l'agglomération ou du compactage à la main. Pour une élaboration voir le paragraphe 3.3.2.

---

## 4 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

### 4.1 CONCLUSIONS

Les évaluations ci-dessus donnent lieu aux conclusions suivantes:

#### *Conclusions générales*

- Si la production des briquettes de charbon est financièrement faisable n'est pas sur. On a besoin d'un test de marketing;
- Le poussier de charbon de bois représente une quantité notable qu'en vue des coûts, on ne doit pas négliger.
- En moyen terme les tiges de cotonnier forment une ressource presque suffisante pour remplacer la consommation Malien de charbon de bois.
- Aussi des autres types de biomasse peuvent servir comme matière pour la fabrication des briquettes de charbon, et une telle utilisation peut être financièrement faisable. Néanmoins, leur quantités sont négligeable. Les balles de riz sont une exception, mais pour cette matière il n'existent pas des techniques pour produire des briquettes d'une qualité acceptable.
- Au Projet Energie Domestique il est recommandé de concentrer son attention à l'utilisation du poussier de charbon de bois et des tiges de cotonnier.

#### *Conclusions techniques*

- Bien que les considérations ci-dessus donnent lieu à des indications sur la voie de développement recommandable au Projet Energie Domestique, il-y reste une problème technique pas encore développée suffisamment. Il s'agit du traitement thermique nécessaire pour conserver les briquettes de charbon faites avec un liant (les Filières 1, 3, 4 et 6). A présent, avant l'exécution d'une teste de marché, ce n'est pas sûre si un traitement thermique est vraiment demandé par les consommateurs, mais ce paraît très probable. Bien que le procédé du traitement technique est connu au niveau du laboratoire, il reste de développer une appareil appropriée. Les coûts d'une traitement thermique ont été négligés dans les évaluations économiques.

### Conclusions économiques

- Les Filières 2 et 5 (briquetage par extrusion, suivi par carbonisation) sont très cher en comparaison des autres filières;
- La Filière la plus moins cher est la Filière 6 qui part du poussier. Parce que la matière est disponible de manière carbonisée c'est aussi facile à gérer;
- Ce n'est pas évident s'il faut donner la préférence à la Filière 3 (hacher les tiges de cotonnier pour un carbonisation centrale ), comparé avec Filière 1 (carbonisation des tiges aux champs). Il est à recommander d'évaluer les coûts de l'utilisation des tracteurs et hacheuses plus précisément. C'est surtout important parce que la gestion d'une campagne de carbonisation aux champs n'est pas facile;
- Le briquetage de charbon par agglomérateur est plus attractive qu'à la main.

De ces conclusions la classification suivante a été déduite (Tableau 14).

Tableau 14. Classification des filières et technologies.

Classification	Filière	
1	Filière 6 (selon la méthode de l'agglomération)	
2	Filière 6 (selon la méthode de compactage à la main)	
3	Filière 1 (selon la méthode de l'agglomération)	Filière 3 (selon la méthode de l'agglomération)
4	Filière 1 (selon la méthode de compactage à la main)	Filière 3 (selon la méthode de compactage à la main)
5	Filière 2	

## 4.2 RECOMMANDATIONS AU PROGRAMME DE TRAVAIL

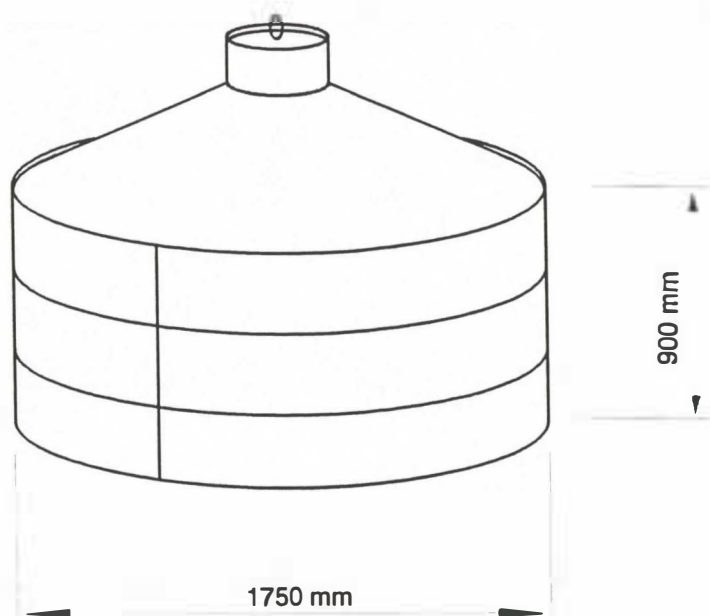
Les activités résumées au Tableau 15 sont recommandées

**Tableau 15. Les actions recommandées.**

Activité	But	Moyens
1 Test marketing et développement du produit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Détermination du prix de vente</li> <li>- Détermination des coûts de vente (distribution, marges)</li> <li>- Adaptation du produit au désirs des consommateurs</li> </ul>	Installation d'une unité pilote à SENAGRI, Production des échantillons (deux types: seulement séchées, et traitées thermiques) Essayes au niveau consommateur, Adaptation de la recette, Essayes de vente au niveau détaillant.
2 Etude plus profonde pour mieux évaluer les différences entre les Filières 1 et 3	Permettre un choix justifié pour la technologie de carbonisation des tiges de cotonnier: (1) aux champs, où (2) centralisé	Recherches par BTG en collaboration avec SENAGRI et CMDT
3 Appropriation de, à un niveau publique, la connaissance: <ul style="list-style-type: none"> <li>- du carbonisation des tiges de cotonnier, et de</li> <li>- de l'agglomération du charbon</li> </ul>	Développer des capacités pour soutenir et disséminer les technologies	Appui technique à CNESOLER par BTG. Suivi technique par CNESOLER pendant les Activités 1, 4, 5 et 6.
4 Appui technique sur l'agglomération au privés intéressés (producteurs des briquettes de charbon)	Dissémination de la technologie de l'agglomération du charbon au secteur privé	En utilisant du poussier et du charbon des tiges de cotonnier, faite pendant Activité 3, assister SENAGRI avec l'agglomération (par BTG)
5 Si justifié par le test marketing: Développement de l'équipement pour le traitement thermique	Mettre au point une technologie faisable	Recherches par CNESOLER, et BTG
6 Tester le carbonisation des tiges de cotonnier (selon la Filière 1 où 3, dépendant sur les résultats de l'Activité 2)	Justifier le choix entre la Filière 1 et 3	Effectuer des Essayes aux champs de coton

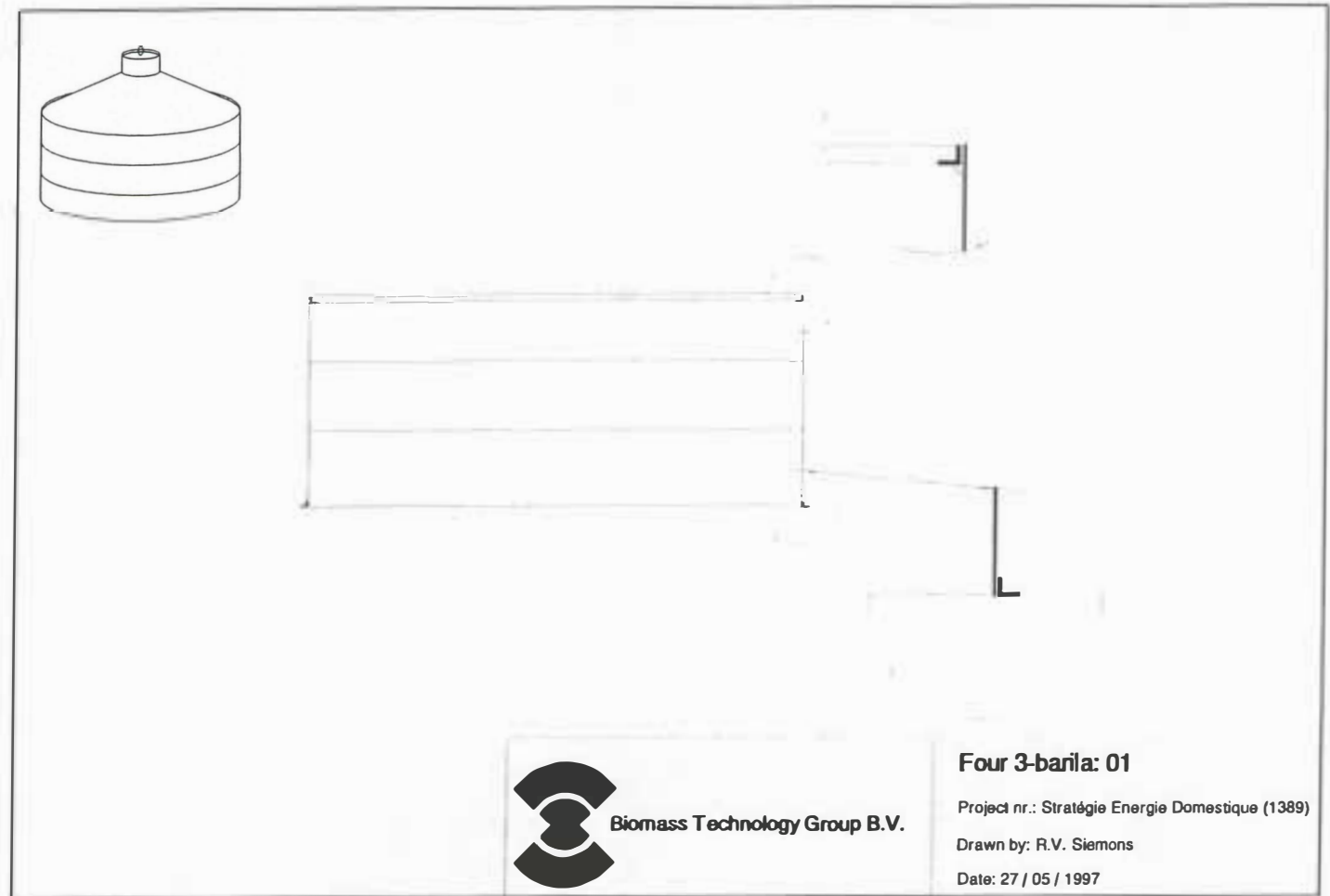
---

**ANNEXE A**  
**DESSINS DE CONSTRUCTION DU FOUR 3-FUTS**

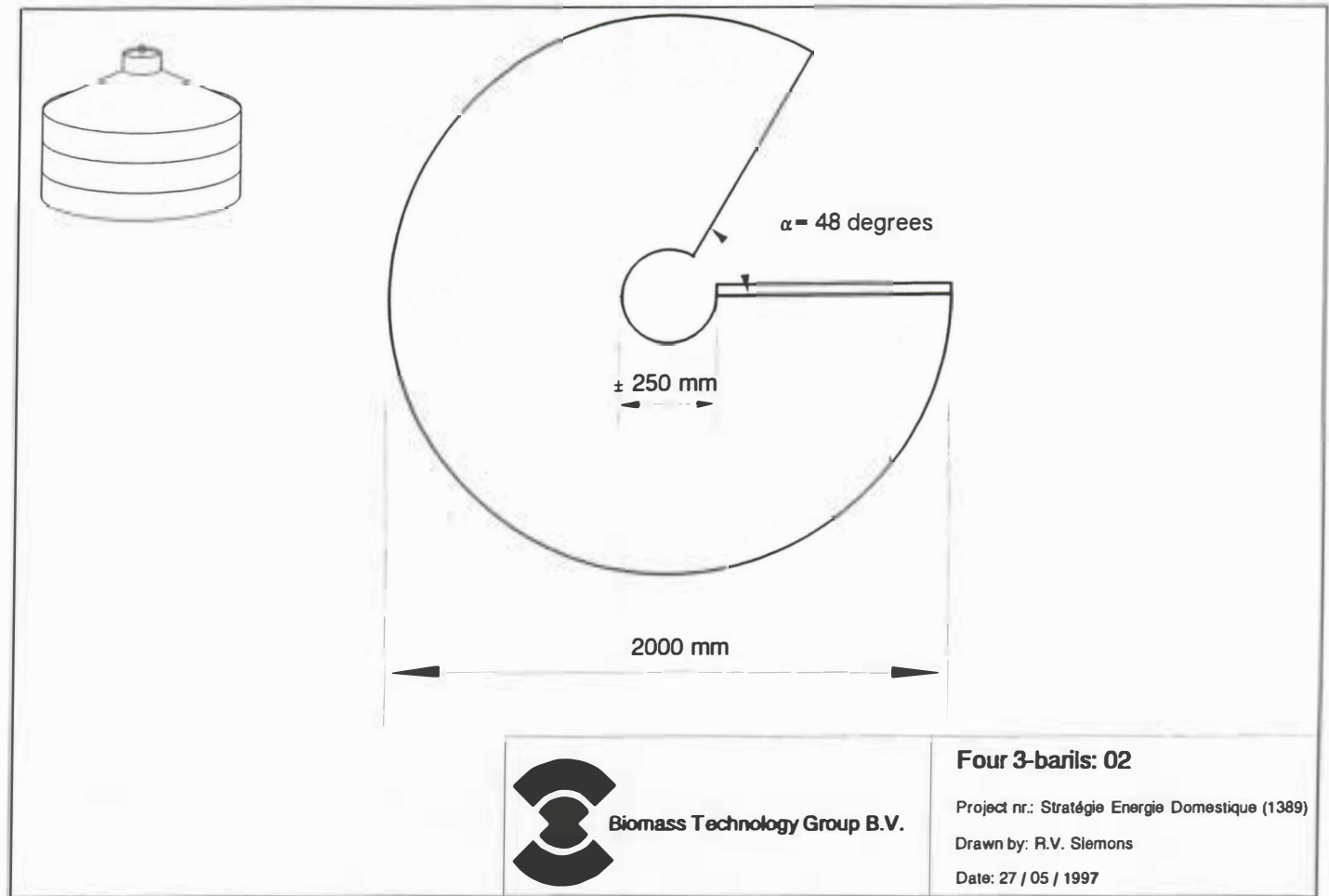


**Figure 16.** Schéma d'un four fait à partir des fûts: le type "3 fûts".

---



**Biomass Technology Group B.V.**





---

## ANNEXE B

### L'AGGLOMERATEUR DE BTG

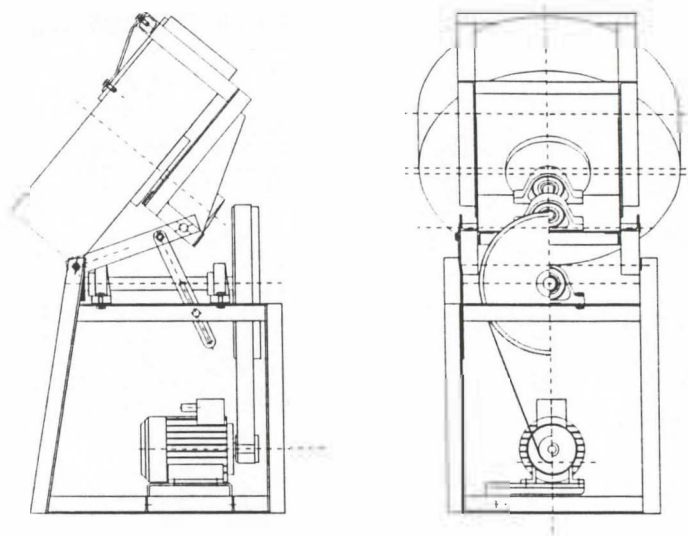


Figure 19, Le plan du modèle agglomérateur de BTG.

---

g

**ANNEXE C****DONNEES ET SUPPOSITIONS****Filière 1: Carbonisation des tiges de cotonnier aux champs****Tableau 16**, Données et suppositions pour le carbonisation des tiges de cotonnier aux champs (pour une unité de production de 4 fours).

<b>Données techniques (unité de production)</b>				
No. de fours	4			
No. d'opérateurs	2			
Charges par four - jour	2			
Volume du four (m <sup>2</sup> )	2			
Quantité d'un charge (kg tiges/charge)	150			
Rendement (kg charbon/kg tiges)	22%			
Mois ouvrables/a	2			
Jours ouvrables	j/mois	j/a		
	24	48		
Consommation de tiges	kg/charge	kg/four/jour	kg/four/a	kg/a
	150	300	14,400	57,600
Consommation de corde à sisal	m/charge	m/four/jour	m/four/a	m/a
	2	4	192	768
Production de charbon	kg/charge	kg/four/jour	kg/four/a	kg/a
	33	66	3,168	12,672
<b>Investissements</b>				
Unité	#	FCFA/pc	Total (FCFA)	
Fours	4	56,943	227,772	
Pelles	2	6,327	12,654	
Seaux	2	6,327	12,654	
<i>Total</i>			253,080	
<b>Données financières</b>				
Coûts de corde sisal (FCFA/m)	7			
Coûts de main d'oeuvre (FCFA/jour)	1,250			
Transport du charbon vers l'usine (FCFA/kg)	2			
Amortissement (a)	5			
Entretien (% de l'inv./a)	10%			
Intérêt (% de l'inv./a)	15%			

## Filière 1: L'agglomération

Tableau 17, Données et suppositions pour l'agglomération du charbon fait aux champs des tiges de cotonnier.					
Données techniques (unité de production)					
Production	1,512	t/a			
Jours ouvrables	270	j/a			
Equipes/jour	2	éq/j			
Heures d'opération	h/éq.	h/j	h/a		
	7	14	3,780		
Capacité	t/h	t/j	t/a		
	0.40	5.60	1,512		
Taux d'humidité des briquettes	40%	près de l'agglom.			
Consommation			à base sèche	taux d'humidité	
Charbon brut	1,149	t/a	76%	0%	
Mélasse	359	t/a	19%	20%	
Retardeur (sable)	76	t/a	5%	0%	
Eau	936	t/a			
Electricité	45	kWh/t			
Equipe	#/shft	FCFA/(h.m)	FCFA/(h.j)		
Chef	1	200,000	9,229		
Ouvriers	4	100,000	4,615		
Investissements					
Equipement	Cap		#	FCFA/pc	Total (FCFA)
Broyeur	400	kg/h	1	2,997,000	2,997,000
Agglomérateurs	50	kg/h	8	666,000	5,328,000
Tables de séchage		m2	25	127,000	3,175,000
Brouettes			12	27,000	324,000
Fûts de mélasse	200	l	8	9,500	76,000
Seaux	20	l	2	9,500	19,000
Transport (+ assurance):					
Maritime					2,000,000
Terrestre					2,000,000
Taxes					700,000
Intention d'importation					350,000
<i>Soustrait équipement</i>					<b>16,969,000</b>
Bâtiments					
Terrain	1,000	m2	1,000	117	117,000
Atelier	75	m2	75	69,000	5,175,000

Magasin	700	m2	700	35,000	24,500,000
Installation		mm	4	200,000	800,000
Gestion construction		mm	4	200,000	800,000
<i>Soustrait Bâtiments</i>					<i>31,392,000</i>
<i>Soustrait équipements et Bâtiments</i>					<i>48,361,000</i>
Coûts financières					
Intérêt pendant la construction	0.33	a	15%		2,418,050
Fonds de roulement	10%	du coût d'opération/a			8,605,907
<i>Investissement total fixé</i>					<i>59,384,957</i>
<b>Données financières</b>					
Amortissement					
Equipement	10	a			
Bâtiments	15	a			
Entretien Equipement	10%	% de l'inv./a			
Intérêt	15%	% de l'inv./a			
Assurances	5%	% de l'inv./a			
Prix de vente	150,000	FCFA/t			
Salaires					
haut	200,000	FCFA/m			
moyen	100,000	FCFA/m			
bas	50,000	FCFA/m			
Coûts de matières	A partir de tiges cotonnier	Poussier			
Charbon brut	28,920	5,000	FCFA/t		
Mélasse	20,400	FCFA/t			
Retardeur	2,000	FCFA/t			
Eau	0	FCFA/t			
Electricité	80	FCFA/kWh			
Emballage	10,000	FCFA/t			
Transport Fana - B'ko	5,000	FCFA/t			
Overhead					
Gestion	2,400,000	FCFA/a			
Administrateur	1,200,000	FCFA/a			

## Filière 1: Le compactage du charbon à la main

**Tableau 18, Données et suppositions pour le compactage à la main du charbon fait aux champs des tiges de cotonnier.**

Données techniques (unité de production)					
Production	454	t/a			
Jours ouvrable	270	j/a			
Equipes/jour	2	éq/j			
Heures d'opération	h/éq.	h/j	h/a		
	7	14	3,780		
Capacité	t/h	t/j	t/a		
	0.12	1.68	454		
Taux d'humidité des briquettes	40%	près du briquettage			
Productivité	30	kg/(homme.h)			
Heures d'opération	7	h/(j.homme)			
Consommation			à base sèche	taux d'humidité	
Charbon brut	0.76	g/g br.	76%	0%	
Mélasse	0.24	g/g br.	19%	20%	
Retardeur	0.05	g/g br.	5%	0%	
Eau	0.62	g/g br.			
Equipe	#/shft	FCFA/(h.m)	FCFA/(h.j)		
Chef	1	200,000	9,229		
Ouvriers	4	50,000	2,307		
<b>Investissements</b>					
Equipement	Cap		#	FCFA/pc	Total (FCFA)
Outils					33,300
<i>Soustotal équipement</i>					<i>33,300</i>
<b>Bâtiments</b>					
Terrain	1,000	m2	1,000	117	117,000
Atelier	75	m2	75	69,000	5,175,000
Magasin	700	m2	700	35,000	24,500,000
Gestion construction		mm	4	200,000	800,000
<i>Soustotal Bâtiments</i>					<i>30,592,000</i>
<i>Soustotal équipements et Bâtiments</i>					<i>30,625,300</i>
<b>Coûts financiers</b>					
Intérêt pendant la construction	0.33	a	15%		1,531,265
					A partir de tiges cotonnier
					Poussier

Fonds de roulement	10%	d u c o û t d'opération/a			2,899,105	2,074,509
<i>Investissement total fixé</i>					<i>35,055,670</i>	<i>34,231,074</i>
<b>Données financières</b>						
Amortissement						
Equipement	10	a				
Bâtiments	15	a				
Intérêt	15%	% de l'inv./a				
Assurances	5%	% de l'inv./a				
Entretien outils	20%	% de l'inv./a				
Prix de vente	150,000	FCFA/t				
Salaires						
haut	200,000	FCFA/m				
moyen	100,000	FCFA/m				
bas	50,000	FCFA/m				
Coûts de matières	A partir de tiges cotonnier	Poussier				
Charbon brut	28,920	5,000 FCFA/t				
Mélasse	20,400	FCFA/t				
Retardeur	2,000	FCFA/t				
Eau	0	FCFA/t				
Emballage	10,000	FCFA/t				
	A partir de tiges cotonnier	Poussier				
Transport Fana - B'ko	5,000	0 FCFA/t				

## Filières 2 et 3: Hacher des tiges de cotonnier aux champs

**Tableau 19, Données et suppositions pour hacher des tiges de cotonnier aux champs (pour une unité de production).**

<b>Données techniques (unité de production)</b>					
Capacité des hacheuses	2,500	kg/h			
Production	840	t/a			
Volume en vrac journalier	58	m3/j			
Charges chariots/jour	4	#/j			
No. tracteurs	2				
	#	m3			
No. chariots	2	15			
Louer du tracteur (carburant inclus)	10,000	FCFA/j			
Louer des chariots	5,000	FCFA/j			
Equipe	#/shft	FCFA/(h.j)			
Chef opérateur	1	4,615			
Chauffeurs tracteurs	2	4,615			
Ouvriers	4	1,250			
<b>Investissements</b>					
Unité	#	FCFA/pc	Total (FCFA)		
Hacheuse	1	3,659,963	3,659,963		
Transport (+ assurance):					
Maritime	1	1,481,766	1,481,766		
Terrestre	1	493,922	493,922		
Taxes		5%	182,998		
Total			5,818,649		
<b>Données financières</b>					
Coûts des tiges ramassées aux champs	2,000	FCFA/t			
Salaires	FCFA/m	FCFA/j			
haut	200,000	9,229			
moyen	100,000	4,615			
bas	50,000	2,307			
très bas		1,250			
Amortissement (a)	10				
Entretien (% de l'inv./a)	10%				
Intérêt (% de l'inv./a)	15%				
	h/j	j/m	m/a	j/a	h/a
Période ouvrable	7	24	2	48	336
Densité après hacher	300	kg/m3			



## Filière 2: Le briquetage direct des tiges de cotonnier suivi par carbonisation

Tableau 20, Données et suppositions pour le briquetage direct des tiges de cotonnier suivi par carbonisation.

Données techniques (unité de production)					
Production	1,512	t/a			
Jours ouvrables	264	j/a			
Equipes/jour	2	éq/j			
Heures d'opération de l'usine	h/éq.	h/j	h/a		
	7	14	3,696		
	44	7	308		
Rendement Carbonisation	25%	kg/kg briquettes bruts			
Capacité de l'usine	t/h	t/j	t/a		
Briquettes brutes	1.64	22.91			
Briquettes carbonisées	0.41	5.73	1,512		
Consommation					
Tiges brut	6,048	t/a			
Electricité	186	kWh/t			
Equipe briquetage et Carbonisation	#/shft	FCFA/(h.m)	FCFA/(h.j)		
Chef	1	200,000	9,229		
Ouvriers	10	100,000	4,615		
Overhead					
Gestion	2,400,000	FCFA/a			
Administrateur	1,200,000	FCFA/a			
Investissements					
Equipement	Cap		#	FCFA/pc	Totale (FCFA)
Machine à hacher	2500	kg/h	7	5,818,649	40,730,544
Broyeur	350	kg/h	5	759,240	3,549,694
Briqueteurs à vis	100	kg/h	16	1,518,480	24,847,855
Pièces détachées		set	1	9,918,435	9,918,435
Fours Carbonisation	716	kg charbon/j	8	3,479,850	27,838,800
Brouettes			12	27,000	324,000
Transport (+ assurance):					
Maritime					63,270,000
Terrestre					20,000,000
Taxes					5,562,564
Intention d'importation					350,000
<b>Sous-total équipement</b>					<b>196,391,891</b>
Bâtiments					
Terrain	1,000	m2	1,000	117	117,000
Atelier	75	m2	75	69,000	5,175,000
Magasin	700	m2	700	35,000	24,500,000



Installation		mm	4	200,000	800,000
Gestion construction		mm	4	200,000	800,000
<i>Soustrait Bâtiments</i>					<i>31,392,000</i>
<i>Soustrait équipements et Bâtiments</i>					<i>227,783,891</i>
Coûts financiers					
Intérêt pendant la construction	0.33	a	15%		11,389,195
Fonds de roulement	10%	des coûts d'opération/a			14,815,752
<i>Investissement total fixé</i>					<i>253,988,838</i>
<b>Données financières</b>					
Amortissement					
Equipement	10	a			
Bâtiments	15	a			
Entretien Equipement	20%	% de l'inv./a			
Intérêt	15%	% de l'inv./a			
Assurances	5%	% de l'inv./a			
Salaires					
haut	200,000	FCFA/m			
moyen	100,000	FCFA/m			
bas	50,000	FCFA/m			
Coûts de matières					
Tiges hachées, délivrées	6,864	FCFA/t			
Electricité	80	FCFA/kWh			
Emballage	10,000	FCFA/t			
Transport Fana - B'ko	5,000	FCFA/t			

### Filière 3: Carbonisation centrale à partir des tiges de cotonnier hachées

Tableau 21, Données et suppositions pour le carbonisation central des tiges de cotonnier (pour une unité de production de 4 fours).

Données techniques (unité de production)				
No. de fours	4			
No. d'opérateurs	2			
Charges par four - jour	2			
Volume du four (m2)	2			
Quantité d'un charge (kg tiges/charge)	300			
Rendement (kg charbon/kg tiges)	25%			
Mois ouvrables/année	12			
Jours ouvrables	j/m	j/a		
	22	260		
Consommation de tiges	kg/charge	kg/four/j	kg/four/a	kg/a
	300	600	156,024	624,096
Production de charbon	kg/charge	kg/four/j	kg/four/a	kg/a
	75	150	39,006	156,024
Investissements				
Unité	#	FCFA/pc	Totale (FCFA)	
Fours	4	56,943	227,772	
Pelles	2	6,327	12,654	
Seaux	2	6,327	12,654	
<i>Totale</i>			253,080	
Données financières				
Coûts de main d'oeuvre	1,250	FCFA/(h.j)		
Amortissement	5	a		
Entretien	20%	% de l'inv./a		
Intérêt	15%	% de l'inv./a		
Coûts de tiges hachées	6,864	FCFA/t		